

(5)

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-190630

(43)Date of publication of application : 05.07.2002

(51)Int.Cl.

H01L 43/08  
G01R 33/09  
G11B 5/39  
G11C 11/14  
G11C 11/15  
H01F 10/16  
H01F 10/30  
H01F 10/32  
H01L 27/105

(21)Application number : 2001-234284

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 01.08.2001

(72)Inventor : SAKAKIMA HIROSHI  
KAWAWAKE YASUHIRO  
SUGITA YASUNARI

(30)Priority

Priority number : 2000237817  
2000309895

Priority date : 04.08.2000  
10.10.2000

Priority country : JP

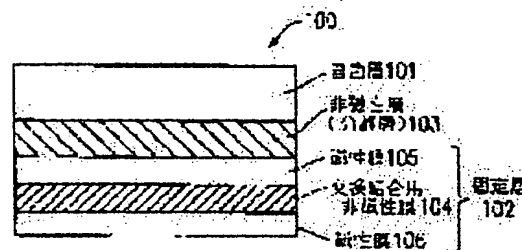
JP

(54) MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT, MAGNETIC HEAD, MAGNETIC RECORDER, AND MEMORY ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a magnetoresistive effect element comprising an exchange coupling film exhibiting excellent thermal stability.

SOLUTION: The magnetoresistive effect element 100 comprises a free layer 101 easily making magnetized rotation by an external field, a nonmagnetic layer 103, and a fixed layer 102 formed on the free layer 101 side with respect to the nonmagnetic layer 103 and is not easily making magnetized rotation by an external field, wherein the fixed layer 102 comprises a first nonmagnetic film 104 for exchange coupling, and first and second magnetic films 105 and 106 exchange coupled antiferromagnetically through the first nonmagnetic film 104 for exchange coupling which contains one or Ru, Ir, Rh and Re.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.02.2003  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number] 3468512  
[Date of registration] 05.09.2003  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-190630

(P2002-190630A)

(43) 公開日 平成14年7月5日 (2002.7.5)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		G 1 1 C 11/14	A 5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/14		11/15	5 F 0 8 3
11/15		H 0 1 F 10/16	

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-234284 (P2001-234284)  
(22) 出願日 平成13年8月1日 (2001.8.1)  
(31) 優先権主張番号 特願2000-237817 (P2000-237817)  
(32) 優先日 平成12年8月4日 (2000.8.4)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)  
(31) 優先権主張番号 特願2000-309895 (P2000-309895)  
(32) 優先日 平成12年10月10日 (2000.10.10)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821  
松下電器産業株式会社  
大阪府門真市大字門真1006番地  
(72) 発明者 樹間 博  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(72) 発明者 川分 康博  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内  
(74) 代理人 100078282  
弁理士 山本 秀策

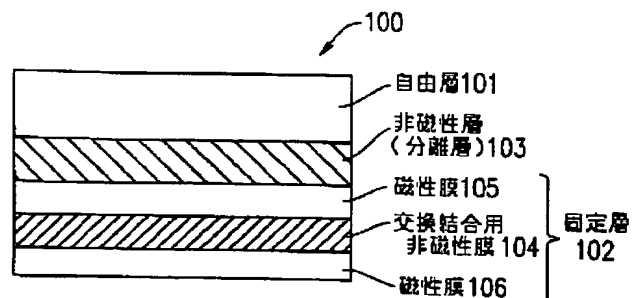
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、磁気記録装置、及びメモリー素子

(57) 【要約】

【課題】 熱的安定性に優れた交換結合膜付の磁気抵抗効果素子を得る。

【解決手段】 磁気抵抗効果素子100は、外部磁界により容易に磁化回転する自由層101と、非磁性層103と、非磁性層103に対して自由層101側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層102とを含む磁気効果素子であって、固定層102は、第1交換結合用非磁性膜104と、第1交換結合用非磁性膜104を介して反強磁性的に交換結合した第1および第2磁性膜105、106とを含み、第1交換結合用非磁性膜104は、Ru、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化物を含む。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外部磁界により容易に磁化回転する自由層と、  
非磁性層と、

該非磁性層に対して該自由層と反対側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層とを含む磁気抵抗効果素子であって、

該固定層は、第 1 交換結合用非磁性膜と、

該第 1 交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第 1 および第 2 磁性膜とを含み、

該第 1 交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Re のいずれかの酸化物を含む磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】 前記磁気抵抗効果素子は、トンネル型の磁気抵抗効果素子である、請求項 1 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】 前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜をさらに含む、請求項 1 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】 前記自由層は、第 2 交換結合用非磁性膜と、

該第 2 交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第 3 および第 4 磁性膜とを含み、

該第 2 交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Re のいずれかの酸化物を含み、

該第 3 および第 4 磁性膜の磁化を  $M1$ 、 $M2$ 、膜厚を  $t1$ 、 $t2$  とする時、それぞれの積  $M1 \times t1$  と  $M2 \times t2$  は実質的に異なる、請求項 1 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】 前記第 1 乃至第 4 磁性膜の少なくとも 1 つは、Co を主成分として B を含有する、請求項 4 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 6】 前記第 1 および第 2 磁性膜の少なくとも 1 つは、Co を主成分として B を含有する、請求項 1 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 7】 前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、

前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられ NiFeCr を主成分とする下地膜とをさらに含む、請求項 1 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 8】 外部磁界により容易に磁化回転する自由層と、

非磁性層と、

該非磁性層に対して該自由層と反対側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層とを含む磁気抵抗効果素子であって、

該自由層は、第 1 交換結合用非磁性膜と、

該第 1 交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第 1 および第 2 磁性膜とを含み、

該第 1 交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Re のいずれかの酸化物を含み、

該第 1 および第 2 磁性膜の磁化を  $M1$ 、 $M2$ 、膜厚を  $t1$ 、 $t2$  とする時、それぞれの積  $M1 \times t1$  と  $M2 \times t2$  は実質的に異なる磁気抵抗効果素子。

【請求項 9】 前記磁気抵抗効果素子は、トンネル型の磁気抵抗効果素子である、請求項 8 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 10】 前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、

前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられ NiFeCr を主成分とする下地膜とをさらに含む、請求項 8 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 11】 記録媒体からの信号磁界を検知する磁気ヘッドであって、

磁性体を含む二つのシールド部と、

該二つのシールド部の間のギャップ内に設けられる請求項 1 に記載の磁気抵抗効果素子とを備える磁気ヘッド。

【請求項 12】 記録媒体からの信号磁界を検知する磁気ヘッドであって、

磁性体を含む二つのシールド部と、

該二つのシールド部の間のギャップ内に設けられる請求項 8 に記載の磁気抵抗効果素子とを備える磁気ヘッド。

【請求項 13】 磁性体を含む磁束ガイド部と、

該磁束ガイド部により導かれた信号磁界を検知する請求項 1 に記載の磁気抵抗効果素子とを備える磁気ヘッド。

【請求項 14】 磁性体を含む磁束ガイド部と、

該磁束ガイド部により導かれた信号磁界を検知する請求項 8 に記載の磁気抵抗効果素子とを備える磁気ヘッド。

【請求項 15】 記録媒体に信号を記録する請求項 11 に記載の磁気ヘッドと、

該磁気ヘッドを搭載したアームと、

該アームを駆動する駆動部と、

該信号を処理して該磁気ヘッドに供給する信号処理部とを備える磁気記録装置。

【請求項 16】 記録媒体に信号を記録する請求項 12 に記載の磁気ヘッドと、

該磁気ヘッドを搭載したアームと、

該アームを駆動する駆動部と、

該信号を処理して該磁気ヘッドに供給する信号処理部とを備える磁気記録装置。

【請求項 17】 記録媒体に信号を記録する請求項 13 に記載の磁気ヘッドと、

該磁気ヘッドを搭載したアームと、

該アームを駆動する駆動部と、

該信号を処理して該磁気ヘッドに供給する信号処理部とを備える磁気記録装置。

【請求項 18】 記録媒体に信号を記録する請求項 14 に記載の磁気ヘッドと、

該磁気ヘッドを搭載したアームと、

該アームを駆動する駆動部と、

該信号を処理して該磁気ヘッドに供給する信号処理部と

を備える磁気記録装置。

【請求項 19】 外部磁界により容易に磁化回転する自由層と、  
非磁性層と、  
該非磁性層に対して該自由層と反対側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層とを含む磁気抵抗効果素子であって、  
該固定層は、交換結合用非磁性膜と、  
該交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第 1 および第 2 磁性膜とを含み、  
該交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Re のいずれかの酸化物を含む磁気抵抗効果素子と、  
該自由層の磁化反転を起こすための磁界を発生するワード線と、  
該磁気抵抗効果素子の抵抗変化を検知するセンス線とを備える磁気抵抗効果メモリー素子。

【請求項 20】 前記磁気抵抗効果素子は、前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜をさらに含む、請求項 19 に記載の磁気抵抗効果メモリー素子。

【請求項 21】 前記自由層は、第 2 交換結合用非磁性膜と、該第 2 交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第 3 および第 4 磁性膜とを含み、  
該第 2 交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Re のいずれかの酸化物を含み、  
該第 3 および第 4 磁性膜の磁化を  $M1$ 、 $M2$ 、膜厚を  $t1$ 、 $t2$  とする時、それぞれの積  $M1 \times t1$  と  $M2 \times t2$  は実質的に異なる、請求項 19 に記載の磁気抵抗効果メモリー素子。

【請求項 22】 前記第 1 乃至第 4 磁性膜の少なくとも 1 つは、Co を主成分として B を含有する、請求項 21 に記載の磁気抵抗効果メモリー素子。

【請求項 23】 前記第 1 および第 2 磁性膜の少なくとも 1 つは、Co を主成分として B を含有する、請求項 19 に記載の磁気抵抗効果メモリー素子。

【請求項 24】 前記磁気抵抗素子は、前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、  
前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられ NiFeCr を主成分とする下地膜とをさらに含む、請求項 19 に記載の磁気抵抗効果メモリー素子。

【請求項 25】 外部磁界により容易に磁化回転する自由層と、  
非磁性層と、  
該非磁性層に対して該自由層と反対側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層とを含む磁気抵抗効果素子であって、  
該自由層は、第 1 交換結合用非磁性膜と、  
該第 1 交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第 1 および第 2 磁性膜とを含み、  
該第 1 交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Re のいずれかの酸化物を含み、

該第 1 および第 2 磁性膜の磁化を  $M1$ 、 $M2$ 、膜厚を  $t1$ 、 $t2$  とする時、それぞれの積  $M1 \times t1$  と  $M2 \times t2$  は実質的に異なる磁気抵抗効果素子と、  
該自由層の磁化反転を起こすための磁界を発生するワード線と、  
該磁気抵抗効果素子の抵抗変化を検知するセンス線とを備える磁気抵抗効果メモリー素子。

【請求項 26】 前記磁気抵抗素子は、前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、  
前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられ NiFeCr を主成分とする下地膜とをさらに含む、請求項 25 に記載の磁気抵抗効果メモリー素子。

【請求項 27】 請求項 19 に記載の磁気抵抗効果メモリー素子をマトリックス状に配列して構成されるメモリー素子。

【請求項 28】 前記磁気抵抗素子は、前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、  
前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられ NiFeCr を主成分とする下地膜とをさらに含む、請求項 27 に記載のメモリー素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は熱的に安定な磁気抵抗磁気抵抗効果素子とこれを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置、及び磁気抵抗効果メモリー素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、強磁性層（自由層）／非磁性層／強磁性層（固定層）を含んでいる磁気抵抗効果素子において、この非磁性層に Cu 等の金属膜を用いた GMR の研究、およびこの非磁性層に  $Al_2O_3$  等の絶縁膜を用いた TMR と呼ばれるトンネル型磁気抵抗効果素子の研究が盛んとなってきた（Journal of Magnetism and Magnetic Materials 139（1995）L231）。この GMR および TMR は、磁気ヘッドおよびメモリー素子への応用が検討されている（2000 IEEE ISSCC TA7.2、TA7.3）。GMR は、すでに磁気ヘッドに応用されている。TMR は、室温で約 40% の抵抗変化率を示し、高出力が期待されている。

【0003】しかしながら、このような磁気抵抗効果素子は層厚が数 nm の積層膜であるため、250℃～300℃以上においては界面拡散が生じてその特性が劣化する課題がある。特に固定層が FeMn、IrMn 等の Mn を含有する反強磁性膜とこれを介して交換結合した強磁性膜とを含む磁気抵抗効果素子においては 250℃以上になるとこの Mn が拡散し、その特性が劣化するという課題がある。

【0004】この課題を改善する方法として、固定層を Ru、Ir、Rh 等を含む交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した二つの強磁性膜を含む〔強

磁性膜／交換結合用非磁性膜／強磁性膜】という構成とすることによりMnの拡散をRu、Ir、Rh等で止めようとする試みがなされている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この場合用いられる交換結合用非磁性膜の膜厚は0.6～0.8nm程度であるため、300℃以上においてはこの交換結合用非磁性膜の界面において拡散が生じて、特性の劣化が生じ課題は未解決である。

【0006】本発明は、熱的安定性の課題を改善して400℃においても安定な特性を示す磁気抵抗効果素子、これを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置、及びメモリー素子を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明に係る磁気抵抗効果素子は、外部磁界により容易に磁化回転する自由層と、非磁性層と、該非磁性層に対して該自由層と反対側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層とを含む磁気抵抗効果素子であって、該固定層は、第1交換結合用非磁性膜と、該第1交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第1および第2磁性膜とを含み、該第1交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化物を含み、そのことにより上記目的が達成される。

【0008】前記磁気抵抗効果素子は、トンネル型の磁気抵抗効果素子であってもよい。

【0009】前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜をさらに含んでもよい。

【0010】前記自由層は、第2交換結合用非磁性膜と、該第2交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第3および第4磁性膜とを含み、該第2交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化物を含み、該第3および第4磁性膜の磁化をM1、M2、膜厚をt1、t2とする時、それぞれの積 $M1 \cdot t1$ と $M2 \cdot t2$ は実質的に異なってもよい。

【0011】前記第1乃至第4磁性膜の少なくとも1つは、Coを主成分としてBを含有してもよい。

【0012】前記第1および第2磁性膜の少なくとも1つは、Coを主成分としてBを含有してもよい。

【0013】前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられNiFeCrを主成分とする下地膜とをさらに含んでもよい。

【0014】本発明に係る他の磁気抵抗効果素子は、外部磁界により容易に磁化回転する自由層と、非磁性層と、該非磁性層に対して該自由層と反対側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層とを含む磁気抵抗効果素子であって、該自由層は、第1交換結合用非磁性膜と、該第1交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第1および第2磁性膜とを含み、該

第1交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化物を含み、該第1および第2磁性膜の磁化をM1、M2、膜厚をt1、t2とする時、それぞれの積 $M1 \cdot t1$ と $M2 \cdot t2$ は実質的に異なり、そのことにより上記目的が達成される。

【0015】前記磁気抵抗効果素子は、トンネル型の磁気抵抗効果素子であってもよい。

【0016】前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられNiFeCrを主成分とする下地膜とをさらに含んでもよい。

【0017】本発明に係る磁気ヘッドは、記録媒体からの信号磁界を検知する磁気ヘッドであって、磁性体を含む二つのシールド部と、該二つのシールド部の間のギャップ内に設けられる本発明の磁気抵抗効果素子とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0018】本発明に係る他の磁気ヘッドは、磁性体を含む磁束ガイド部と、該磁束ガイド部により導かれた信号磁界を検知する本発明の磁気抵抗効果素子とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0019】本発明に係る磁気記録装置は、記録媒体に信号を記録する本発明の磁気ヘッドと、該磁気ヘッドを搭載したアームと、該アームを駆動する駆動部と、該信号を処理して該磁気ヘッドに供給する信号処理部とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0020】本発明に係る磁気抵抗効果メモリー素子は、外部磁界により容易に磁化回転する自由層と、非磁性層と、該非磁性層に対して該自由層と反対側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層とを含む磁気抵抗効果素子であって、該固定層は、交換結合用非磁性膜と、該交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第1および第2磁性膜とを含み、該交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化物を含む磁気抵抗効果素子と、該自由層の磁化反転を起こすための磁界を発生するワード線と、該磁気抵抗効果素子の抵抗変化を検知するセンス線とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0021】前記磁気抵抗効果素子は、前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜をさらに含んでもよい。

【0022】前記自由層は、第2交換結合用非磁性膜と、該第2交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第3および第4磁性膜とを含み、該第2交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化物を含み、該第3および第4磁性膜の磁化をM1、M2、膜厚をt1、t2とする時、それぞれの積 $M1 \times t1$ と $M2 \times t2$ は実質的に異なってもよい。

【0023】前記第1乃至第4磁性膜の少なくとも1つは、Coを主成分としてBを含有してもよい。

【0024】前記第1および第2磁性膜の少なくとも1つは、Coを主成分としてBを含有してもよい。

【0025】前記磁気抵抗素子は、前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられNiFeCrを主成分とする下地膜とをさらに含んでもよい。

【0026】本発明に係る他の磁気抵抗効果メモリ素子は、外部磁界により容易に磁化回転する自由層と、非磁性層と、該非磁性層に対して該自由層と反対側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層とを含む磁気抵抗効果素子であって、該自由層は、第1交換結合用非磁性膜と、該第1交換結合用非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した第1および第2磁性膜とを含み、該第1交換結合用非磁性膜は、Ru、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化物を含み、該第1および第2磁性膜の磁化をM1、M2、膜厚をt1、t2とする時、それぞれの積 $M1 \times t1$ と $M2 \times t2$ は実質的に異なる磁気抵抗効果素子と、該自由層の磁化反転を起こすための磁界を発生するワード線と、該磁気抵抗効果素子の抵抗変化を検知するセンス線とを備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0027】前記磁気抵抗素子は、前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられNiFeCrを主成分とする下地膜とをさらに含んでもよい。

【0028】本発明に係るメモリ素子は、本発明の磁気抵抗効果メモリ素子をマトリックス状に配列して構成され、そのことにより上記目的が達成される。

【0029】前記磁気抵抗素子は、前記固定層と磁氣的に交換結合した反強磁性膜と、前記反強磁性膜に対して前記固定層と反対側に設けられNiFeCrを主成分とする下地膜とをさらに含んでもよい。

【0030】本発明のある局面に従えば、Ru、Ir、Rh、Reの酸化膜を用いることにより交換結合用非磁性膜界面での拡散が抑制され耐熱性を大幅に改善することが出来る。この磁気抵抗効果素子の固定層は硬質磁性膜でも良いが、素子サイズが小さくなると固定層からの磁界も自由層に影響を及ぼすので、固定層が反強磁性膜と磁氣的に交換結合した積層反強磁性結合膜より構成されることが望ましい。

【0031】自由層が外部印加磁界方向に磁化回転するためには積層反強磁性結合膜を構成する二つの磁性膜の磁化をM1、M2、膜厚をt1、t2とする時、それぞれの積 $M1 \cdot t1$ と $M2 \cdot t2$ は異なるようにする必要がある。この積の値が等しいと磁界が印加されても自由層のその方向への磁化回転に支障を来すからである。これらの固定層は反強磁性膜と磁氣的に交換結合した上記積層反強磁性結合膜より構成されることが望ましい。

【0032】これら磁気抵抗効果素子の固定層あるいは自由層、もしくは固定層と自由層の双方の磁性膜の一部にCoを主成分としてBを含有する磁性膜を用いても良い。この様な構成とすることにより自由層の軟磁気特性

が改善され感度の良い素子が可能となる。

【0033】磁性体より成る二つのシールド部を有し、この二つのシールド部のギャップ内に上記の磁気抵抗効果素子を設けることにより、熱的安定性に優れた信号磁界を検知する再生ヘッド部を有する磁気ヘッドが可能となる。

【0034】磁性体より成る磁束ガイド（ヨーク）部を有し、この磁束ガイド部により導かれた信号磁界を検知する素子として上記の磁気抵抗効果素子を用いることにより熱的安定性に優れた再生ヘッド部を有する磁気ヘッドが可能となる。

【0035】これらの磁気ヘッドとその駆動部、情報を記録する磁気記録媒体部、及び信号処理部を用いて熱的安定性に優れた磁気記録装置を構成することが可能となる。

【0036】上記の磁気抵抗効果素子部と、磁気抵抗効果素子部の自由層の磁化反転を起こすための磁界を発生するに設けられた導体線（ワード線）、磁気抵抗効果素子部の抵抗変化を検知するための導体線（センス線）を設けることにより熱的安定性に優れた磁気抵抗効果メモリ素子が可能となる。

【0037】またこれらメモリ素子をマトリックス状に配列し駆動回路を設ければ、熱的安定性に優れた（ランダムアクセス）メモリ素子が可能となる。

【0038】

【発明の実施の形態】実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の一例を図1に示す。磁気抵抗効果素子100は、外部磁界により容易に磁化回転する自由層101と、非磁性層103と、非磁性層103に対して自由層101と反対側に設けられ外部磁界により容易には磁化回転しない固定層102とを含んでいる。固定層102は、交換結合用非磁性膜104と、交換結合用非磁性膜104を介して反強磁性的に交換結合した磁性膜105および106とを含んでいる。交換結合用非磁性膜104は、Ru、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化物を含んでいる。

【0039】自由層101と固定層102とは、非磁性層103により磁氣的に分離されている。自由層101は外部から印加される磁界によって自由に磁化回転し、固定層102は外部から印加される磁界によって容易には磁化回転しない。

【0040】前述したように固定層102は、交換結合用非磁性膜104を介して反強磁性的に交換結合した磁性膜105および106を含んでいる。本発明は、この反強磁性的な交換結合を実現する交換結合用非磁性膜104にRu、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化膜を用いることを特徴とする。二つの磁性膜を反強磁性的に交換結合させる交換結合用非磁性膜としてはCu、Ag、Cr、Ru、Ir等多数の金属が知られている。しかしながら、これらの金属の酸化膜または窒化膜を用いて、

反強磁性的な交換結合を実現出来る交換結合用非磁性膜は知られていなかった。即ち、金属の酸化膜は二つの磁性層を反強磁性的に交換結合させることができないという見解が当業者の常識であり、二つの磁性層を反強磁性的に交換結合させる交換結合用非磁性膜として酸化膜を用いるということは、当業者にとって非常識な見解であった。

【0041】例えばCu, Ag, Cr等の酸化膜によっては、二つの磁性膜を反強磁性的に交換結合させる反強磁性的交換結合を実現することは出来ない。この理由としては以下の事項が知られている。

【0042】二つの磁性膜の電子は通常d電子と呼ばれている。このd電子は、局在的な振る舞いをする。このため、二つの磁性膜を数原子層も離すとこの二つの磁性膜の間の磁氣的相互作用が急激に弱くなる。Cu, Ag, Cr, Ru, Irのような非磁性金属膜の電子は通常s電子と呼ばれている。二つの磁性膜の間にこのCu, Ag, Cr, Ru, Irのような非磁性金属膜を挿入すると、このs電子は遍歴的な振る舞いをする。この遍歴的な振る舞いをするs電子を介して二つの磁性膜のd電子同士の間において磁氣的相互作用が強まる。その結果、二つの磁性膜の距離（即ち非磁性金属膜の膜厚）に依存して二つの磁性膜は反強磁性的にあるいは強磁性的に交換結合する。この効果は、「RKKY相互作用」として知られている。

【0043】しかしながら、この非磁性金属膜に酸化膜を用いると、この酸化膜の電子は遍歴的な振る舞いをすることなく、局在的な振る舞いを示すため、二つの磁性膜を反強磁性的に交換結合させることが困難となる。

【0044】このように、交換結合用非磁性膜として酸化膜を用いることは当業者にとって非常識な見解であって、実際、酸化膜は交換結合用非磁性膜として使用されていなかった。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>等の代表的酸化膜を二つの磁性膜の間に入れて交換結合用非磁性膜として用いても、この二つの磁性膜は全く交換結合しないことが知られている。CuおよびCrの酸化膜についても同様である。即ち、CuまたはCrを介して反強磁性的に交換結合している二つの磁性膜も、このCuまたはCrをCuまたはCrの酸化膜によって置き換えると反強磁性的に交換結合しなくなる。

【0045】本願発明者は、固定層に含まれる強磁性膜の中に、厚さが1nm程度の超薄型の酸化膜を挿入すると、電子がこの超薄型の酸化膜により鏡面反射されて大幅に磁気抵抗効果が改善されることを報告した（Journal of Magnetism and Magnetic Materials 210（2000）L20-24）。

【0046】そこで本願発明者らはこれらの事実に着目して、電子の鏡面反射効果を実現すると同時に二つの磁性膜間の反強磁性的な交換結合を実現することができる

酸化膜を求めて研究開発を行った。その結果、Ru, Ir, Rh, Reの酸化膜は酸化膜でありながら例外的に二つの磁性膜間の反強磁性的な交換結合を実現することができるという事実を発見した。さらに、このRu, Ir, Rh, Reの酸化膜は、以下に述べる優れた熱的安定性を示すことを発見した。

【0047】このRu, Ir, Rh, Reの金属の酸化膜は、Ru, Ir, Rh, Reの金属膜よりも拡散しにくい。即ち、400℃以上においても交換結合用非磁性膜104の界面において拡散が生じず、磁気抵抗効果素子の特性が劣化することがない。また、このRu, Ir, Rh, Reのいずれかの酸化膜は、酸化膜でありながらこの膜を介して二つの磁性膜105および106を反強磁性的に交換結合させることが可能である。このように、交換結合用非磁性膜104にRu, Ir, Rh, Reのいずれかの酸化膜を用いると、400℃以上においても交換結合用非磁性膜104の界面において拡散が生じず、磁気抵抗効果素子の特性が劣化することがない磁気抵抗効果素子、即ち、熱的に安定な磁気抵抗効果素子100を得る事ができる。

【0048】非磁性層103としてCu等の金属膜を用いるとGMRとなる。このGMRにおいては、図1に示す多層膜の左右に電極を設けて磁気抵抗効果素子を構成する。非磁性層103としてAlの酸化膜等の絶縁膜を用いるとTMRとなる。このTMRにおいては、図1に示す多層膜の上下に電極を設けて磁気抵抗効果素子を構成する。

【0049】このGMRとTMRとのいずれの場合も、自由層101の磁化方向と固定層102に含まれる磁性膜105の磁化方向とが反平行の場合には、この磁気抵抗効果素子の抵抗が高く、平行の場合は抵抗が低くなる。このGMRとTMRとにおいては、この抵抗変化率（以下MR比と呼ぶ）が従来のNiFe等を用いた磁気抵抗効果素子より大きなものが得られる。

【0050】図2は、実施の形態に係る他の磁気抵抗効果素子200の構成図である。図1を参照して前述した磁気抵抗効果素子100の構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。これらの構成要素についての詳細な説明は省略する。

【0051】図1に示す磁気抵抗効果素子と同様に、磁気抵抗効果素子200に含まれる固定層102は、交換結合用非磁性膜104を介して反強磁性的に交換結合した磁性膜105および106を含んでいる。本発明は、この反強磁性的な交換結合を実現する交換結合用非磁性膜104にRu, Ir, Rh, Reのいずれかの酸化膜を用いることを特徴とする。交換結合用非磁性膜104にRu, Ir, Rh, Reのいずれかの酸化膜を用いると、400℃以上においても交換結合用非磁性膜104の界面において拡散が生じず、磁気抵抗効果素子の特性が劣化することがない磁気抵抗効果素子、即ち、熱的に



安定な磁気抵抗効果素子200を得る事ができる。

【0052】この磁気抵抗効果素子200は、固定層102と磁氣的に交換結合した反強磁性膜201と、この反強磁性膜201に対して102固定層と反対側に設けられNiFeCrを主成分とする下地膜201Aとをさらに含んでいる。

【0053】図1に於いて固定層102の磁化方向を更に強力に固定するには、図2に示すように反強磁性膜201と交換結合した構成とすることが望ましい。特にこの場合、反強磁性膜201用の下地膜201AとしてNiFeCrを主成分とした膜を用いると反強磁性膜201と固定層102との交換結合特性が改善される。この場合反強磁性膜201の交換結合力が固定層102のみに及ぶためには下地膜201AとしてのNiFeCrは非磁性膜であることが望ましい。

【0054】図2において反強磁性膜201の代わりに硬質磁性膜を設けても良いが、磁気ヘッドやメモリー素子への応用を考慮すると、微細な形状にパターンニングした場合、この硬質磁性膜からの磁界が自由層101に影響を及ぼすので、この影響のない反強磁性膜201を用いることが望ましい。

【0055】図3は、実施の形態に係るさらに他の磁気抵抗効果素子300の構成図である。図2を参照して前述した磁気抵抗効果素子200の構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。これらの構成要素についての詳細な説明は省略する。

【0056】図1に示す磁気抵抗効果素子と同様に、磁気抵抗効果素子300に含まれる固定層102は、交換結合用非磁性膜104を介して反強磁性的に交換結合した磁性膜105および106を含んでいる。本発明は、この反強磁性的な交換結合を実現する交換結合用非磁性膜104にRu、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化膜を用いることを特徴とする。交換結合用非磁性膜104にRu、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化膜を用いると、400℃以上においても交換結合用非磁性膜104の界面において拡散が生じず、磁気抵抗効果素子の特性が劣化することがない磁気抵抗効果素子、即ち、熱的に安定な磁気抵抗効果素子300を得る事ができる。

【0057】この磁気抵抗効果素子300が図2を参照して前述した磁気抵抗効果素子200と異なる点は、自由層101の替わりに自由層301を設けた点である。自由層301は、交換結合用非磁性膜302と、交換結合用非磁性膜302を介して反強磁性的に交換結合した磁性膜303および304とを含んでいる。この交換結合用非磁性膜302は、Ru、Ir、Rh、Reのいずれかの酸化膜を含んでいる。磁性膜303および304の磁化をM1、M2、その膜厚をt1、t2とする時、それぞれの積 $M1 \times t1$ と $M2 \times t2$ は実質的に異なっている。

【0058】即ちこの構成では $(M1 \times t1 - M2 \times t2)$

2) が零とならないように注意する必要がある。これを実現するには同じ組成の二つの膜を用いる場合は膜厚に差をつける必要があるし、二つの磁性膜の膜厚は同じでも両者の磁化が異なれば良い。

【0059】図1あるいは図2に示した磁気抵抗効果素子100、200において、膜厚を一定のまま磁気抵抗効果素子の幅が小さくなると、即ち、素子が微細化すると、一般には反転磁界は磁気抵抗効果素子の幅に逆比例して大きくなる。この反転磁界が大きくなると、磁気抵抗効果素子の感度が低下し、これを用いたメモリー素子においてワード線の書き込み電流の増加を引き起こす。しかしながら、本発明の場合は $M1 \times t1$ と $M2 \times t2$ の値の差 $(M1 \times t1 - M2 \times t2)$ が自由層301全体の磁氣的に有効な部分として動作するため、この $M1 \times t1$ と $M2 \times t2$ の値の差を調整することにより、素子の微細化による感度の低下の問題および書き込み電流の増加の問題を解決することが出来る。

【0060】又磁気抵抗効果素子が微細化すると、メモリー素子の自由層に書き込まれた情報が熱揺らぎの影響を受けるおそれがある。しかし、図3に示すように非磁性膜（交換結合用非磁性膜）302を介して反強磁性的に交換結合した二つの磁性膜303および304を含む自由層301を設けることにより熱揺らぎに対して安定なメモリー素子を実現することが出来る。この場合自由層301を構成する二つの磁性膜303および304の磁化と膜厚の積の差は0よりも大きく、2T（テスラ）nm以下とすることが望ましい。

【0061】このように、非磁性膜302を介して交換結合した二つの磁性膜303および304を含む自由層301は、図4に示したように反強磁性的な交換結合を保ったまま自由層301の $(M1 \times t1 - M2 \times t2)$ の磁化方向と外部磁界方向が平行となるように磁化回転する。自由層301を非磁性膜302を介して交換結合した二つの磁性膜303および304を含む構成としても、図4に示したような動作をしないものは感度が悪く、図4に示したような動作をするよう設計することが大切である。

【0062】更に図3に示したように固定層102が交換結合用非磁性膜104を介して反強磁性的に交換結合している二つの磁性膜105及び106を含む構成とすると、外部磁界に対してより磁化回転し難く、熱的にも安定な磁気抵抗効果素子とすることが可能である。この場合は自由層301と異なり磁性膜105と106の磁化と膜厚とは同じでも良い。なお図3では固定層102に反強磁性膜201を有するものを示したが、反強磁性膜201は無い構成としても良い。

【0063】磁気抵抗効果素子100または200に含まれる固定層102の磁性膜105と106との少なくとも一方にCoを主成分としてBを5%以上30%以下含有するCoFeB、CoNbB、CoFeNbB等の

磁性膜を用いても良い。この様な構成とすることにより自由層101または201の軟磁気特性が改善され感度の良い素子が可能となる。

【0064】同様に磁気抵抗効果素子300に含まれる固定層102の磁性膜105と106と自由層301に含まれる磁性膜303と304との少なくとも1つにCoを主成分としてBを5%以上30%以下含有するCoFeB、CoNbB、CoFeNbB等の磁性膜を用いても良い。この様な構成とすることにより自由層301の軟磁気特性が改善され感度の良い素子が可能となる。

【0065】図1～図3に示される固定層102に含まれる磁性膜105および106、ならびに図3に示される自由層301に含まれる磁性膜303および304としてはCo、Fe、Co-Fe、Ni-Fe、Ni-Fe-Co等の合金膜、あるいはこれらの積層膜とすることが望ましい。自由層301に含まれる磁性膜303および304としては軟磁気特性を示すものが望ましく、Ni-Fe系やNi-Fe-Co系の磁性膜をその主構成膜とすることが望ましい。

【0066】図1～図3に示す固定層102の磁性膜105および106は硬質磁性膜でも良い。例えばCoPt系膜がその一例である。更にこの硬質磁性膜と磁性膜とを積層したものでも良い。一例としてはCoPt/CoFeがあげられる。又固定層102は反強磁性膜201と交換結合した磁性膜105および106を含んでも良い。

【0067】図2および図3に示す反強磁性膜201としては、T-Mn (TはNi、Pt、Ir、Pd、Rh、Ru、Crから選ばれる1種もしくは2種以上の元素)系の合金膜が望ましい。具体例ではPtMn、RdPtMn、NiMn、IrMn、CrPtMn、RuRhMn等が挙げられる。又これら反強磁性膜201の下地膜201AにはNiFeCrを主成分とするものを用いることが望ましい。この場合NiFeCrは非磁性であることが望ましく、Crを20原子%以上含有する組成とすれば室温で非磁性とすることが可能である。更に上述の自由層301の場合と同様に非磁性膜を介して反強磁性的に交換結合した二つの磁性膜としても良い。

【0068】自由層と固定層を磁氣的に分離する非磁性層103としては、TMRを得るための絶縁膜については、AlOやAlN、AlNO、BN等を用いることが望ましい。GMRを得るための金属膜（非磁性導電膜）としてはCu、Au、Ag、Cr、Ru等を非磁性層103に用いることが望ましい。非磁性層103と自由層101または301との間、あるいは非磁性層103と固定層102との間に、ハーフメタルでスピン分極率の大きな膜を挿入することにより更に大きな磁気抵抗変化率が得られる。このハーフメタルでスピン分極率の大きな膜の一例としてはFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>膜がそれであり、この場合その膜厚を1nm以下とすることが望ましい。

【0069】これらの本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子を用いれば、熱的安定性に優れた磁気ヘッドを得る事が出来る。図5は、本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気ヘッド500の構成図である。磁気ヘッド500は、再生ヘッド部505を備えている。この再生ヘッド部505は、上部シールド501と、下部シールド502と、上部シールド501と下部シールド502との間に形成された再生ギャップ503の中に設けられた本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子504とを含んでいる。この二つのシールド501および502は磁性体より成っている。

【0070】巻き線部506に電流が流れると、記録ポール507と上部シールド501との間に形成された記録ギャップ508からの漏れ磁界により信号が記録媒体（図示せず）に記録される。記録媒体（図示せず）からの信号磁界を再生ギャップ503（シールドギャップ）間に設けられた磁気抵抗効果素子504が読み取ることにより記録媒体に記録された信号が再生される。

【0071】磁気抵抗効果素子504には図示しないリード線部が接続される。磁気抵抗効果素子504がGM Rである場合は、二つのシールド501、502と絶縁されたリード線部が磁気抵抗効果素子504の左右に接続される。磁気抵抗効果素子504がTMRである場合は、磁気抵抗効果素子504の上下にリード線部が接続される。磁気抵抗効果素子504がTMRである場合は、磁気抵抗効果素子504の上下に接続されたリード線部を上部シールド501および下部シールド502とそれぞれ接続して、上部シールド501および下部シールド502がリード線部を兼ねる構造としても良い。この構造によれば再生ギャップ503をより狭くすることが可能となる。

【0072】このように本実施の形態によれば、熱的安定性に優れた磁気抵抗効果素子504を備えた再生ヘッド部505を有する磁気ヘッド500を実現することができる。

【0073】図6は、本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子を用いた他の磁気ヘッド600の構成図である。磁気ヘッド600は、上部シールド602と、下部シールド601と、上部シールド602と下部シールド601との間に設けられた磁気抵抗効果素子504とを備えている。下部シールド601は、磁性体より成り、ヨーク部（磁束ガイド部）を兼ねている。図6ではTMRとしての磁気抵抗効果素子504を用いた場合の構成を示している。

【0074】図6に示すように、記録媒体（図示せず）からの信号磁界は再生ギャップを経て下部シールド601と兼用されたヨーク部に沿って磁気抵抗効果素子504へ導かれ、ヨーク部601に接続された磁気抵抗効果素子504により読み取られる。TMRとしての磁気抵抗効果素子504には、上部リードが接続されている。

下部シールド601は、磁気抵抗効果素子504に接続される下部リードをさらに兼用している。さらに、磁気抵抗効果素子504に含まれる自由層全体、もしくはその一部を下部シールド601と兼用しても良い。GMRとして磁気抵抗効果素子504を用いた場合は、磁気抵抗効果素子504とヨーク部601とを絶縁した構成とする必要がある。

【0075】このように本実施の形態によれば、熱的安定性に優れた磁気抵抗効果素子504を備えたヨークを有する磁気ヘッド600を実現することができる。

【0076】図7は、本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子を備えた磁気ヘッドを用いた磁気記録再生装置700の斜視図である。本実施の形態に係る再生ヘッドを有する磁気ヘッドを用いてHDD等の磁気記録再生装置を構成することが可能である。図7に示すように、磁気記録再生装置700は、磁気記録媒体703に情報を記録再生する磁気ヘッド701と、磁気ヘッド701を搭載したアーム705と、アーム705を駆動する駆動部702と、磁気ヘッド701によって磁気記録媒体703から再生された信号および磁気ヘッド701によって磁気記録媒体703へ記録する信号を処理する信号処理部704とを備えている。

【0077】駆動部702は、磁気記録媒体703上の所定の位置に磁気ヘッド701を位置決めするようにアーム705を駆動する。再生動作においては、磁気ヘッド701は、磁気記録媒体703に記録された信号を読み出す。信号処理部704は、磁気ヘッド701によって磁気記録媒体703から読み出された信号を再生処理する。記録動作においては、信号処理部704は磁気記録媒体703に記録すべき信号を記録処理する。磁気ヘッド701は、信号処理部704によって記録処理された信号を磁気記録媒体703に記録する。このように本実施の形態によれば、熱的安定性に優れた再生ヘッドを有する磁気ヘッドを用いた磁気記録再生装置を構成することができる。

【0078】更に本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子を用い、これに磁界を発生するワード線と磁気抵抗効果素子の抵抗を読みとるセンス線とを設け図8および図9に示すような構成とすれば、メモリー素子を得ることができる。

【0079】図8は、本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子801をGMRとして用いたメモリー素子800の構成図である。メモリー素子800は、GMRとしての磁気抵抗効果素子801を備えている。この磁気抵抗効果素子801の左右には磁気抵抗効果素子801に記録された情報を読み出すためのセンス線802が接続されている。メモリー素子800には、磁気抵抗効果素子801に情報を書き込むための2本のワード線803および804が設けられている。

【0080】このメモリー素子800を複数個マトリッ

クス状に配列すると、二つのワード線803および804からの合成磁界により複数個の磁気抵抗効果素子801のうちの一つの磁気抵抗効果素子を選択して情報を書き込むことが可能である。電流の流れる方向はワード線803では紙面に垂直方向で、ワード線804では紙面内の左右の方向である。

【0081】図9は、本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子901をTMRとして用いたメモリー素子900の構成図である。メモリー素子900は、TMRとしての磁気抵抗効果素子901を備えている。メモリー素子900には、磁気抵抗効果素子901に情報を書き込むためのワード線903が設けられている。磁気抵抗効果素子901の上下には、センス線902とセンス線と兼用のワード線904とが接続されている。

【0082】これらメモリー素子900を複数個マトリックス状に配列すると、ワード線903とセンス線と兼用のワード線904との合成磁界により複数個の磁気抵抗効果素子901のうちの一つの磁気抵抗効果素子を選択して情報を書き込むことが可能である。電流の流れる方向はワード線903では紙面に垂直方向で、センス線と兼用のワード線904では紙面内の左右の方向である。

【0083】図8に示すメモリー素子800と図9に示すメモリー素子900との異なる点は、各メモリー素子を複数個マトリックス状に配列した場合、図8のメモリー素子800においては各メモリー素子を直列にセンス線802が繋ぐのに対して、図9のメモリー素子900においては各メモリー素子を並列にセンス線902が繋ぐ点である。

【0084】これらのメモリー素子800および900においては、ワード線803および804ならびにワード線903およびセンス線兼ワード線904に電流を流して磁界を発生させ、この磁界により磁気抵抗効果素子801および901にそれぞれ含まれる自由層の磁化を反転させて情報の記録を行う。情報の読み出しはセンス線802ならびにセンス線902およびセンス線兼ワード線904を用いて、磁気抵抗効果素子801および901にそれぞれ含まれる自由層の磁化方向と固定層の磁化方向とが平行の場合は素子の抵抗が低く、反平行の場合は素子の抵抗が高いことよりその磁気抵抗効果素子のメモリー状態を読み取る。

【0085】このメモリー素子800および900は磁気メモリーであるので半導体メモリーのDRAMとは異なり不揮発性であり、半導体のフラッシュメモリーとは異なり、書き込み／読み出し回数が原理的には無限回でかつ書き込み／消去時間もnsのオーダーで早く、非破壊読み出しが可能であることがその特徴である。

【0086】なお以上は1ビットのメモリー素子についての動作原理の説明であるが、実際のメモリー素子を構成する場合はこれらのメモリー素子をマトリックス状に配置

する必要がある。その場合は各メモリ素子、例えば

(N、M) 番地のメモリ素子上で直交する2本のワード線により磁界を発生してその合成磁界により情報の書き込みを行う。情報の読み出しは(N、M) 番地に接続された素子の抵抗の大小を読みとることにより行われる。

#### 【0087】

【実施例】 (実施例1) 基板にSi、ターゲットにCr、Pt、CoPt、Ir、CoFe、Al、Cu、NiFeを用いてスパッタ法を用いて図1に示すような磁気抵抗効果素子100を作成した。まずSi基板上に下部電極用として厚さ50nmのCu/Pt/Cr膜を成膜し、この上に以下の構成の磁気抵抗効果素子を作成した。

実施例試料1: CoPt (25) / CoFe (3) / IrO (0.8) / CoFe (3) / AlO (1.4) / CoFe (1) / NiFe (3)

ただし () 内は膜厚を示し、単位はnmである。またIrOとAlO膜はIrとAlを成膜後、自然酸化により

形成した。

【0088】実施例試料1において、CoPtおよびCoFeは、図1に示す磁性膜106に対応する。IrOは交換結合用非磁性膜104に対応し、CoFeは磁性膜105に対応し、AlOは、非磁性層103に対応する。CoFeおよびNiFeは、自由層101に対応する。

【0089】実施例試料1の膜をホトリソグラフィを用いて幅 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ の磁気抵抗効果素子とし、周囲をAlOで絶縁した後スルーホールを開けて、この上に厚さ50nmのCu/Pt膜を成膜して上部電極とした。この様にして作製した磁気抵抗効果素子を400℃まで熱処理し、室温で磁界を5000e印加して磁気抵抗変化率(以下MR比と呼ぶ)を測定した。結果を(表1)に示す。

#### 【0090】

【表1】

熱処理温度 (℃)	300	320	340	360	380	400
実施例試料1 のMR比(%)	31	31	31	31	31	28

この様に本発明の磁気抵抗効果素子100は極めて熱的安定性に優れていることがわかった。

【0091】(実施例2) 基板にSi、ターゲットにPt、Ru、PtMn、CoFe、Cu、Al、NiFe、NiFeCrを用いてスパッタ法を用いて図2に示すような磁気抵抗効果素子200を作成した。まずSi基板上に下部電極用として厚さ50nmのCu/Pt膜を成膜し、この上に以下の構成の磁気抵抗効果素子を作成した。

実施例試料2: PtMn (25) / CoFe (3) / RuO (0.8) / CoFe (3) / AlO (1.4) / CoFe (1) / NiFe (4) 又PtMnの下地膜としてNiFeCrを用いたものも作成した。

実施例試料2A: NiFeCr (4) / PtMn (25) / CoFe (3) / RuO (0.8) / CoFe (3) / AlO (1.4) / CoFe (1) / NiFe (4)

比較のため従来構成の下記の試料も作成した。

従来例試料A: PtMn (25) / CoFe (6) / AlO (1.2) / CoFe (1) / NiFe (4)

実施例試料2において、PtMnは、図2に示す反強磁性膜201に対応する。CoFeは磁性膜106に対応し、RuOは交換結合用非磁性膜104に対応する。CoFeは磁性膜105に対応し、AlOは非磁性層103に対応する。CoFeおよびNiFeは、自由層101に対応する。実施例試料2Aにおいて、NiFeCrは、下地膜201Aに対応する。その他は実施例試料2と同様である。

【0092】ただしRuO膜とAlO膜はRuとAlを成膜後自然酸化して形成した。これら試料を280℃で2時間熱磁界中処理した後、実施例試料2及び従来例試料Aの膜をホトリソグラフィを用いて幅 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ の磁気抵抗効果素子とし、周囲をAlOで絶縁した後スルーホールを開けて、この上に厚さ50nmのCu/Pt膜を成膜して上部電極とした。この様にして作製した磁気抵抗効果素子を400℃まで熱処理し、室温で磁界を5000e印可して磁気抵抗変化率(以下MR比と呼ぶ)を測定した。結果を(表2)に示す。

#### 【0093】

【表2】

熱処理温度 (°C)	300	320	340	360	380	400
実施例試料2 のMR比(%)	45	45	45	45	43	35
実施例試料2A のMR比(%)	46	46	46	46	44	39
従来例試料A のMR比(%)	42	40	18	2	0	0

この様に本発明の磁気抵抗効果素子200は従来の素子と比較して熱的安定性に優れていることがわかった。

【0094】(実施例3) 基板にSi、ターゲットにTa、NiFeCr、RuO<sub>2</sub>、PtMn、CoFe、Cu、CoFeBを用い、スパッタ法を用いて図2に示すような磁気抵抗効果素子200を作成した。まずSi基板上に厚さ6nmのTa/NiFeCr膜を成膜し、この上に以下の構成の磁気抵抗効果素子を作成した。

実施例試料3: PtMn(15)/CoFe(2)/RuO(0.8)/CoFe(2)/Cu(2.4)/CoFe(2)/Cu(1)/Ta(3)

実施例試料3A: PtMn(15)/CoFeB(1)/CoFe(1.5)/RuO(0.8)/CoFe(2)/Cu(2.4)/CoFe(2)/Cu(1)/Ta(3)

(ただしRuO膜とはRuの酸化膜を示すものでありRuとOの比が1:1を意味するものではない。上述したのIrO、AlOも同様である。) 比較のため従来構成の下記の試料も作成した。

#### 実施例試料3

Hc(Oe) 6

この様に固定層102の磁性膜106にCoFeBを用いたものは自由層101の軟磁気特性が大幅に改善されることがわかった。次に磁気抵抗効果素子を400℃まで熱処理し、室温で磁界を500Oe印可して磁気抵抗

従来例試料B: PtMn(15)/CoFe(4)/Cu(2.4)/CoFe(2)/Cu(1)/Ta(3)

実施例試料3において、PtMnは、図2に示す反強磁性膜201に対応する。CoFeは磁性膜106に対応し、RuOは交換結合用非磁性膜104に対応する。CoFeは磁性膜105に対応する。Cuは、非磁性層103に対応する。CoFeは、自由層101に対応する。CuおよびTaは、図示しないキャップ膜である。実施例試料3Aにおいて、CoFeBおよびCoFeは、磁性膜106に対応する。その他は、実施例試料3と同様である。

【0095】これら試料を280℃で2時間熱磁界中処理した後、実施例試料3及び従来例試料Bの膜をホトリソグラフィを用いて幅0.5μm×1μmの形状にして電極を付け磁気抵抗効果素子を作製した。これら磁気抵抗効果素子のMR比を室温で測定し、その自由層の保磁力Hcを調べた。結果を以下に示す。

#### 実施例試料3A

1

変化率(以下MR比と呼ぶ)を測定した。結果を(表3)に示す。

【0096】

【表3】

#### 従来例試料B

9

熱処理温度 (°C)	300	320	340	360	380	400
実施例試料3 のMR比(%)	11	11	11	11	9	1
実施例試料3A のMR比(%)	10	10	10	10	8	1
従来例試料B のMR比(%)	9	9	2	0	0	0

この様に本発明の磁気抵抗効果素子は従来の素子と比較して熱的安定性に優れていることがわかった。

【0097】(実施例4) 基板にSi、ターゲットにPt、PtMn、CoFe、Ru、Al、Cu、NiFe、NiFeCrを用いてスパッタ法を用いて図3に示すような磁気抵抗効果素子300を作成した。まずSi基板上に下部電極用として厚さ50nmのCu/Pt膜

を成膜し、この上に以下の構成の磁気抵抗効果素子を作成した。

実施例試料4: PtMn(25)/CoFe(3)/RuO(0.8)/CoFe(3)/AlO(1.4)/NiFe(3)/RuO(0.8)/NiFe(2)  
更にNiFeCrを下地膜として有するものも作成した。

実施例試料4A: NiFeCr (4) / PtMn (25) / CoFe (3) / RuO (0.8) / CoFe (3) / AlO (1.4) / NiFe (3) / RuO (0.8) / NiFe (2)

又比較のため従来構成の以下の試料も作製した。

従来例試料C: PtMn (25) / CoFe (3) / Ru (0.7) / CoFe (3) / AlO (1.4) / NiFe (5)

実施例試料4において、PtMnは図3に示す反強磁性膜201に対応する。CoFeは磁性膜106に対応し、RuOは交換結合用非磁性膜104に対応する。CoFeは磁性膜105に対応し、AlOは非磁性層103に対応し、NiFeは磁性膜304に対応し、RuOは交換結合用非磁性膜302に対応し、NiFeは磁性

膜303に対応する。実施例試料4Aにおいて、NiFeCrは下地膜201Aに対応する。

【0098】これら試料を280℃で2時間熱磁界中処理した後、実施例試料4と従来例試料Cの膜をホトリソグラフィを用いて幅0.2μm×0.3μmの磁気抵抗効果素子とし、周囲をAlOで絶縁した後スルーホールを開けて、この上に厚さ50nmのCu/Pt膜を成膜して上部電極とした。この様にして作製した磁気抵抗効果素子を400℃まで熱処理し、室温で磁界を500Oe印可して磁気抵抗変化率（以下MR比と呼ぶ）を測定した。結果を（表4）に示す。

【0099】

【表4】

熱処理温度 (°C)	300	320	340	360	380	400
実施例試料4 のMR比(%)	41	41	41	41	40	37
実施例試料4A のMR比(%)	42	42	42	42	42	39
従来例試料C のMR比(%)	41	41	28	2	0	0

この様に本発明の磁気抵抗効果素子は従来の素子と比較して熱的安定性に優れていることがわかった。次にMR

比の測定磁界Hに対する依存性を調べたところ下記のよう

	H=400e	H=800e	H=1200e
実施例試料4	MR=39%	MR=40%	MR=41%
実施例試料4A	MR=39%	MR=41%	MR=42%
従来例試料C	MR=4%	MR=28%	MR=39%

この結果からわかるように本発明の磁気抵抗効果素子300は自由層301が非磁性層302を介して反強磁性的に交換結合したものとなっており、自由層301のNiFe膜の外部磁界に対する実効的な膜厚は1nmと考えて良いので弱磁界でも十分大きなMR比を示す。これに対して従来例試料CのNiFeの膜厚は5nmであるため、素子サイズがこの様に小さくなると反磁界が大きくなり、測定磁界が小さくなると自由層の磁化回転が困難となるため弱磁界では大きなMR比が得られないと考えられる。更にこれら磁気抵抗効果素子のMR曲線の非対称性を調べたところ、実施例試料4及び4Aは殆ど非対称性が見られなかったが、実施例試料来例試料Cは僅かな非対称性が見られた。

【0100】（実施例5）基板にSi、ターゲットにTa、NiFeCr、RuO<sub>2</sub>、PtMn、CoFe、Cu、NiFeを用いてスパッタ法を用いて図3に示すような磁気抵抗効果素子300を作成した。まずSi基板上に厚さ6nmのTa/NiFeCr膜を成膜し、この上に以下の構成の磁気抵抗効果素子を作成した。

実施例試料5: PtMn (15) / CoFe (2) / R

uO (0.8) / CoFe (2) / Cu (2.4) / CoFe (1) / NiFe (1) / RuO (0.8) / NiFe (1.5) / Ta (3)

比較のため従来構成の下記の試料も作成した。

従来例試料D: PtMn (15) / CoFe (2) / Ru (0.7) / CoFe (2) / Cu (2.4) / CoFe (1) / NiFe (2.5) / Ta (3)

実施例試料5において、PtMnは図3に示す反強磁性膜201に対応する。CoFeは磁性膜106に対応し、RuOは交換結合用非磁性膜104に対応する。CoFeは磁性膜105に対応し、Cuは非磁性層103に対応する。CoFeおよびNiFeは、磁性膜304に対応する。RuOは、交換結合用非磁性膜302に対応する。NiFeは、磁性膜303に対応する。Taは、図示しないキャップである。

【0101】これら試料を280℃で2時間熱磁界中処理した後、実施例試料5及び従来例試料Dの膜をホトリソグラフィを用いて幅0.2μm×0.3μmの形状にして電極を付け磁気抵抗効果素子を作製した。この様にして作製した磁気抵抗効果素子を400℃まで熱処理し、室温で磁界を500Oe印可して磁気抵抗変化率

(以下MR比と呼ぶ)を測定した。結果を(表5)に示す。

【0102】

【表5】

熱処理温度 (°C)	300	320	340	360	380	400
実施例試料5 のMR比(%)	9	9	9	9	8	1
従来例試料D のMR比(%)	9	9	4	0	0	0

この様に本発明の磁気抵抗効果素子300は従来の素子と比較して熱的安定性に優れていることがわかった。次

にMR比の測定磁界Hに対する依存性を調べたところ下記のような結果が得られた。

$$H=400\text{e} \quad H=800\text{e} \quad H=1200\text{e}$$

$$\text{実施例試料5} \quad \text{MR}=8\% \quad \text{MR}=9\% \quad \text{MR}=9\%$$

$$\text{従来例試料D} \quad \text{MR}=2\% \quad \text{MR}=6\% \quad \text{MR}=8\%$$

この様に本発明の素子300は従来素子に比較して微細パターン形状での磁界感度が良いことがわかった。

て大幅に熱的安定性が改善されていることがわかった。

【0103】(実施例6) 実施例3で作製した実施例試料3と従来例試料BのGMR膜を用いて図5に示した構造の磁気ヘッド500を作製した。ヘッド500の記録ポール507とシールド501、502にはNiFeメッキ膜を用いた。再生ヘッド部505のGMR素子のトラック幅は $0.3\mu\text{m}$ 、MR高さも $0.3\mu\text{m}$ とした。作製したヘッドの熱的安定性を調べるために、ヘッド500を $150^\circ\text{C}$ の恒温槽に入れて5mAの電流を流して5日間保持し、耐熱試験前と後の出力の比較を行った。その結果実施例試料3を用いたヘッドの出力低下は約1%であったのに対して、従来例試料Bを用いたヘッドの出力低下は約33%であった。これより本発明のヘッド500が従来のそれに比べて大幅に熱的安定性が改善されていることがわかった。このヘッド500を用いて、ヘッドの駆動部、磁気記録媒体ディスク、信号処理部を有する図7に示すような構成の磁気記録再生装置700を20台作製した。作製した磁気記録再生装置700の耐熱試験を $130^\circ\text{C}$ の恒温槽を用いて行ったが、1台も劣化するものは無いことがわかった。

【0105】(実施例8) 実施例5で作製した実施例試料5と従来例試料Dを用いて図8に示す磁気抵抗効果メモリー素子800を作製した。実施例5で作製した実施例試料5及び従来例試料Dの左右にセンス線802を接続し、この上にAlO膜を成膜して絶縁した後、Cuより成るワード線804を形成し、又この上にAlO膜を成膜して絶縁した後、Cuより成るワード線803を形成して図8の様な磁気抵抗効果メモリー素子800を作製した。作製したこれらメモリー素子を $64 \times 64$ のマトリック状に配置して磁気ランダムアクセスメモリー

(MRAM)の試作を行った。このMRAMを $380^\circ\text{C}$ で水素シンター処理した後、ワード線803及び804を用いて情報の書き込みと再生を試みた。その結果本発明の実実施例試料5を用いたものは再生信号の確認が出来たが、従来例試料Dを用いたものは再生信号が得られなかった。

【0104】(実施例7) 実施例2及び4で作製した実施例試料2、2A及び4と従来例試料A及びBの構成のTMR膜を用いて図6に示した構造の磁気ヘッド600を作製した。シールド601、602にはNiFeメッキ膜を用いた。ただしこの場合はシールドのNiFe膜をCMP研磨した後、TMR膜は実施例とは逆にNiFe膜から成膜を始め、最後にPtMn膜を成膜し、この上に電極膜を形成した。再生ヘッド部のTMR素子の形状は $0.5\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m}$ とした。作製したヘッド600の熱的安定性を調べるために、ヘッド600を $150^\circ\text{C}$ の恒温槽に入れてTMR素子に0.2Vの電圧を印加して5日間保持し、耐熱試験前と後の出力の比較を行った。その結果実施例試料2、2A及び4を用いたヘッドの出力低下は約4%であったのに対して、従来例試料A及びBを用いたヘッドの出力低下は約21%であった。これより本発明のヘッド600が従来のそれに比べ

【0106】(実施例9) 実施例4で作製した実施例試料4及び4Aと従来例試料Cを用いて磁気抵抗効果メモリー素子を作製した。実施例4で作製した実施例試料4及び従来例試料Cの下部電極をセンス線兼ワード線904として、又上部電極をセンス線902として用い、この上にAlO膜を成膜して絶縁した後、この上にCuより成るワード線903を形成し、図9の様な磁気抵抗効果メモリー素子900を作製した。得られた素子の抵抗は約 $10\text{k}\Omega$ であった。ワード線903と904に電流を流して磁界を発生させ自由層の磁化反転を起こして情報"1"を記録した。次にワード線903と904に反対方向に電流を流し、自由層の磁化反転を起こして情報"2"を記録した。センス線902と904の間にバイアス電圧を印可してセンス電流を0.05mA流し、情報"1"の状態と情報"2"の状態の素子出力を測定したところ、その差として実施例試料4及び4Aを用いた素子で約150mV、従来例試料Cを用いた素子でも同様の高出力が得られた。

【0107】次にこの素子を $64 \times 64$ のマトリックス状に配置した磁気ランダムアクセスメモリー(MRA

M) の試作を行った。まずスイッチングトランジスタ (SW-Tr) として CMOS をマトリクス状に配置し、CMP により平坦化した後、上記のような磁気抵抗効果メモリ素子を各 CMOS に対応してマトリクス状に設けた。最後に 380℃ で水素シンター処理を行った。

【0108】各 (N、M) 番地の素子への情報の記録は (N、M) 番地の素子で交差するワード線に電流を流し、その合成磁界により行った。読み出しは CMOS の SW-Tr により各素子を選択して各素子の抵抗値と参照抵抗とを比較する方式で行った。その結果実施例試料 4 及び 4A を用いた MRAM では単一メモリ素子の場合と同様な素子大きな出力が得られたが、従来例試料 C を用いた MRAM はまったく出力が得られなかった。これは 380℃ での水素シンター処理に本発明素子は耐えられるものの、従来素子は耐えられないことに起因すると考えられる。

【0109】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、熱的安定性の課題を改善して 400℃ の熱処理に対しても安定な磁気抵抗効果素子、これを用いた磁気ヘッド、磁気記録装置、及びメモリ素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の磁気抵抗効果素子の一例を示す図

【図 2】 本発明の磁気抵抗効果素子の一例を示す図

【図 3】 本発明の磁気抵抗効果素子の一例を示す図

【図 4】 本発明の磁気抵抗効果素子の外部磁界に対する自由層の磁化回転機構を示す図

【図 5】 本発明の磁気抵抗効果素子を用いた、シールドを有する磁気ヘッドの一例を示す図

【図 6】 本発明の磁気抵抗効果素子を用いた、ヨークを有する磁気ヘッドの一例を示す図

【図 7】 本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気記録再生装置の一例を示す図

【図 8】 本発明の GMR 膜を用いたメモリ素子の一例を示す図

【図 9】 本発明の TMR 膜を用いたメモリ素子の一例を示す図

【符号の説明】

100 磁気抵抗効果素子

101 自由層

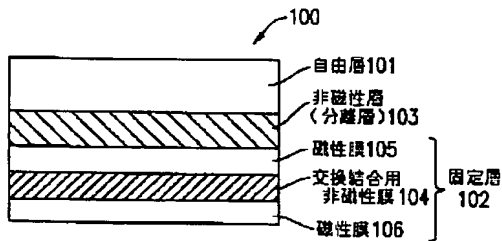
102 固定層

103 固定層

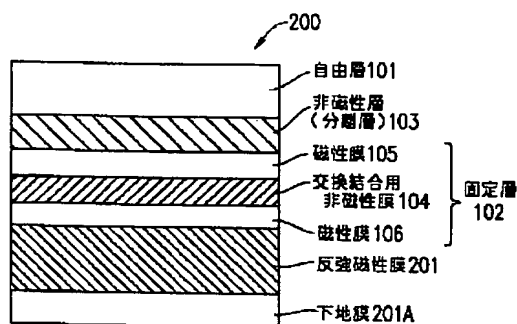
104 交換結合用非磁性膜

105、106 磁性膜

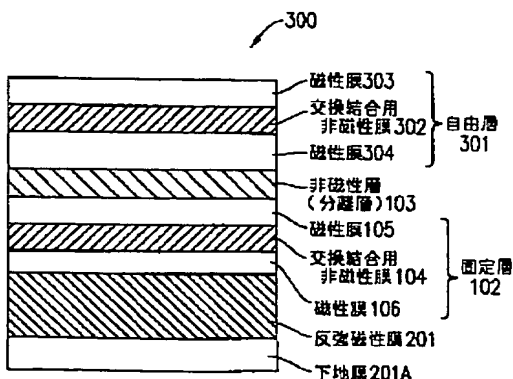
【図 1】



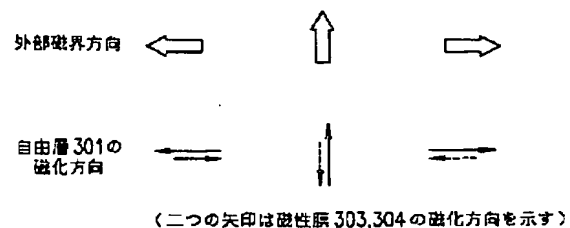
【図 2】



【図 3】

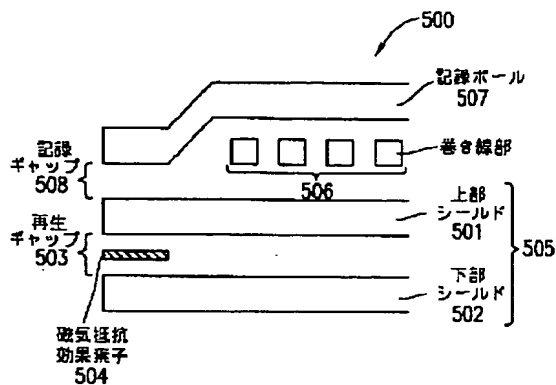


【図 4】

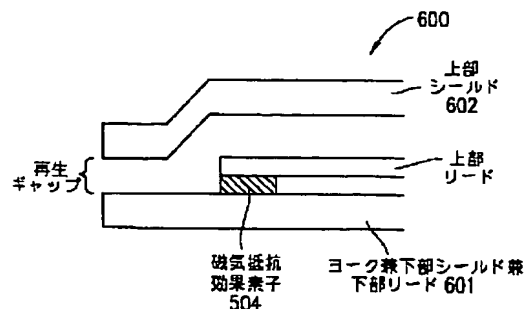




【図5】

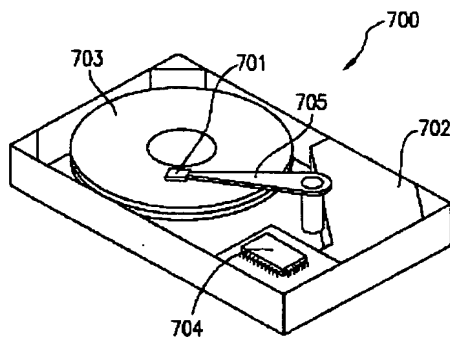


【図6】

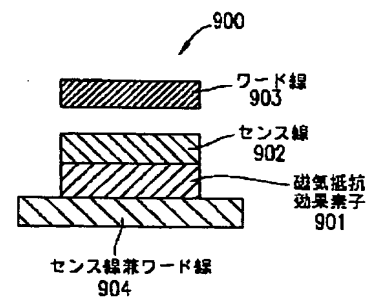
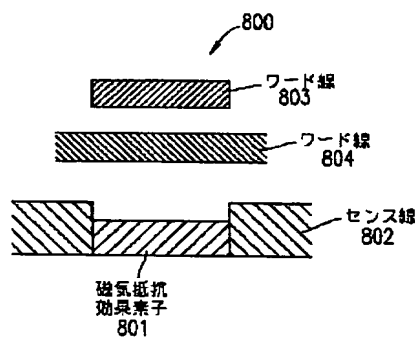


【図9】

【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H 0 1 F 10/16  
10/30  
10/32  
H 0 1 L 27/105

H 0 1 F 10/30  
10/32  
H 0 1 L 27/10  
G 0 1 R 33/06

4 4 7

R

(出願人による申告) 国などの委託研究の成果に係る特許出願 (平成12年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「超先端電子技術開発促進事業 (超先端電子技術開発促進事業)」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(72) 発明者 杉田 康成

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

Fターム (参考) 2G017 AA02 AB05 AD55  
5D034 AA02 BA03 BB01 CA03  
5E049 AA04 AA07 BA12 CB02 DB12  
GC01  
5F083 FZ10 GA01 GA11 JA37 PR22